

С. С Некрасов, канд. техн. наук, А. Ю. Довгополов, Суми, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ РОЗ'ЄМНОГО РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ З ВЕЛИКИМ КРОКОМ В ДЕТАЛЯХ З АРМОВАНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*З метою дослідження міцності, запропонованого роз'ємного з'єднання для деталей з армованих композиційних матеріалів(АКМ), були проведені дослідження зі зміною основних параметрів що найбільше впливають на працездатність з'єднання. Для запропонованого з'єднання, круглої різьби з великим кроком, змінювалися такі основні параметри як крок різьби  $p$  та глибина профілю різьби  $t$ . Отримані значення сили, дозволили встановити, що запропоноване роз'ємне з'єднання за характеристиками міцності, при всіх встановлених параметрах наближається, за показниками міцності, до з'єднання з аналогічними параметрами виконаному в металі. За рахунок виконання повного факторного експерименту за класичною схемою його виконання, були встановлені основні параметри при яких показники міцності будуть найкращими, для нашого випадку значення кроку різьби складатиме  $p = 4$  мм, а значення глибини профілю різьби  $t = 0.9$  мм.*

*Ключові слова:* армовані композиційні матеріали(АКМ); роз'ємні різьбові з'єднання; напруження; міцність; кругла різьба

*С целью исследования прочности, предложенного разъемного соединения для деталей из армированных композиционных материалов (АКМ), были проведенные исследования с изменением основных параметров, которые больше всего влияют на работоспособность соединения. Для предложенного соединения, круглой резьбы с большим шагом, изменялись такие параметры как шаг резьбы  $p$  и глубина профиля резьбы  $t$ . Полученные значения силы, позволили установить, что предложенное разъемное соединение по характеристикам прочности, при всех установленных параметрах приближается, по показателям прочности, к соединению, с аналогичными параметрами выполненному в металле. За счет выполнения полного факторного эксперимента по классической схеме его выполнения, были установлены основные параметры при которых показатели прочности будут наилучшими, для нашего случая шаг резьбы будет  $p = 4$  мм, а значение глубины профиля резьбы  $t = 0.9$  мм.*

*Ключевые слова:* армированные композиционные материалы(АКМ) ; разъемные резьбовые соединения; напряжения; прочность; круглая резьба

*With the purpose of research of durability, offered sectional connection for details from the reinforced composition materials (RCM), there were undertaken studies with the change of basic parameters that most influence on the capacity of connection. For the offered connection, round screw-thread with a stride, such parameters as step of screw-thread of  $p$  and depth of profile of screw-thread of  $t$  changed. Got values of force, allowed to set that sectional connection on descriptions of durability, at all set parameters approached, on the indexes of durability, to connection, with analogical parameters executed in a metal. Due to implementation of complete factor experiment on the classic chart of his implementation, basic parameters were set at that indexes of durability will be the best, for our case a step of screw-thread will be  $p = 4$  mm, and value of depth of profile of screw-thread of  $t = 1.76$  mm.*

*Keywords:* CRM; detachable connections; voltages; strength; round screw-thread

**Постановка проблеми:** Останнім часом, питанням дослідження міцності конструкцій з композиційних матеріалів в Україні та в усьому світі,

приділяється досить значна увага. Найсвіжіші дослідження міцності різьбових з'єднань в армованих композиційних матеріалах провів Zemann Richard який досить детально встановив, міцність різьбового з'єднання виконаного у вуглепластиковому армованому композиті [3].

Завдяки своїм перевагам в вазі, та досить високим показникам міцності армовані композиційні матеріали такі як склопластик та вуглепластик досить часто використовуються в промисловості. Особливо зазначені матеріали використовуються у великій кількості для виготовлення, фюзеляжів літаків та космічних кораблів, а також в інших галузях промисловості таких як легке машинобудування та приладобудування. Також значне застосування знайшли дані армовані композиційні матеріали в модельному спорті.

Що ж стосується з'єднань представлених композитів то в основному використовуються не роз'ємні з'єднання деталей виготовлених з даних АКМ, такі як клейові та заклепкові, оскільки завдяки своїм анізотропним властивостям досить складно отримати роз'ємне з'єднання яке б задовольняло необхідним показникам міцності.

У випадку з різьбовими з'єднаннями даних АКМ, все набагато складніше, оскільки як було сказано вище, дані композити мають анізотропні властивості, то класичні різьби такі як метрична, дюймова не задовольняють показники міцності для даних з'єднань, оскільки завдяки наявності гострих концентраторів напруг, вони не витримують необхідного навантаження. Все це зв'язано з тим що зазначені, армовані композиційні матеріали не досить добре витримують навантаження на розтяг та стискання, порівняно з деякими металами, а на зсув взагалі погано себе зарекомендували [1]. Саме тому потрібна зовсім інша геометрія профілю роз'ємного з'єднання, щоб уникнути поганих показників міцності, та не допустити виникнення гострих концентраторів напруг в роз'ємному з'єднанні.

**Метою даної роботи** є дослідження міцності роз'ємного різьбового з'єднання з великим кроком в деталях з армованих композиційних матеріалів, та визначення основних параметрів при значеннях яких показники міцності будуть найбільшими.

**Викладення основного матеріалу:** Вирішити проблему отримання працездатного роз'ємного з'єднання для деталей виготовлених з АКМ, було запропоновано наступним чином, оскільки не допускається гострих концентраторів напруг, було вирішено виготовити круглу різьбу з великим кроком. Профіль даної різьби із зазначенням параметрів різьби представлений на рис. 1.

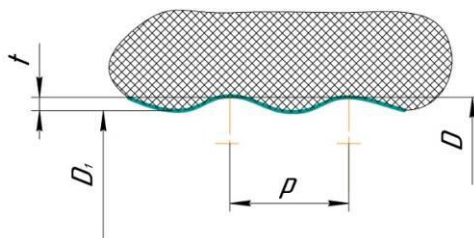


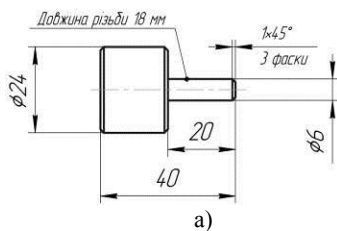
Рисунок 1 – Профіль запропонованої різьби із зазначенням параметрів

Для практичної перевірки міцності запропонованого роз'ємного з'єднання були виготовлені металеві вставки з круглою різьбою, в даних вставках змінювалися основні параметри круглої різьби це  $p$  – крок різьби, та  $t$  – глибина профілю різьби. Параметри даних різьб та межі їх варіювання представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри що змінювалися в ході експерименту

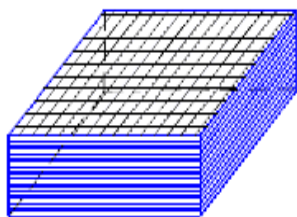
Параметри що змінювалися	Позначення	Межі варіювання
Глибина профілю різьби	$t$	0.5 – 1.0
Крок різьби	$p$	1.0 – 4.0

Зазначені металеві вставки виготовлялися раніше відомим способом [2], з конструкційної сталі, марка сталі «Сталь 45» ескіз даної вставки представлений на рис. 2а, а фото вставки на рис. 2б. Перед нарізанням різьби металеві вставки оброблялися на токарному верстаті до діаметру 6.2мм. потім відбувалося нарізування самої різьби.

Рисунок 2 – Металева вставка круглої зовнішньої різьби:  
а – ескіз металевої вставки; б – фото вставки

Внутрішня кругла різьба була виготовлена в склопластиковій пластині армованій в двох взаємно перпендикулярних напрямках схема армування представлена на рисунку 3а, а фото самої пластини на рис. 3б.

Матеріал з якого було виготовлено зазначену пластину це склотканина(розміри решітки 0.5 – 0.5 мм) товщина 0.2 мм та епоксидна смола ЕРОХУ-520, розміри платини 190х107х16 мм. Технологія обробки круглої внутрішньої різьби в АКМ детально описана в [1].



а)



б)

Рисунок 3 – Склопластиковая пластина:  
а – схема армирования пластины; б – фото пластины

Далі відбувалося виконання повного факторного експерименту за класичною схемою його виконання. В нашому випадку побудова матриці повного факторного експерименту була реалізована на двох рівнях по двом факторах. Таким чином була реалізована матриця типу  $2^2$ . В табл. 2 представлено кодування факторів які в нашому випадку змінювалися.

Таблица 2 – Кодування факторів

Фактори що змінюються:	Позначення	Межі варіювання	Кодове позначення	Нижній рівень	Верхній рівень	Нульовий рівень
Глибина профілю різьби	t	0.5 – 1.0	$x_1$	0.5	1.0	0.75
Крок різьби	p	1.0 – 4.0	$x_2$	1.0	4.0	3.0

Умова яка обов'язково повинна виконуватися в процесі реалізації зазначеного експерименту

$$0.5 \leq x_1 \leq 1.0$$

$$1.0 \leq x_2 \leq 4.0$$

Матриця планування експерименту типу  $2^2$ , представлена в табл. 3.

Таблиця 3 – Матриця планування експерименту типу 2<sup>2</sup>

№ експерименту	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	t	p
1	+	+	1	4
2	+	-	1	1
3	-	+	0.5	4
4	-	-	0.5	1
5	0	0	0.75	2.5

Далі виготовлялися круглі різьби із зазначеними параметрами, для кожного випадку виконувалось по 5 різьб.

Далі проводилося випробування даного різьбового з'єднання на міцність використовувалася універсальна розривна машина Р20. Фото експерименту представлено на рис. 4.

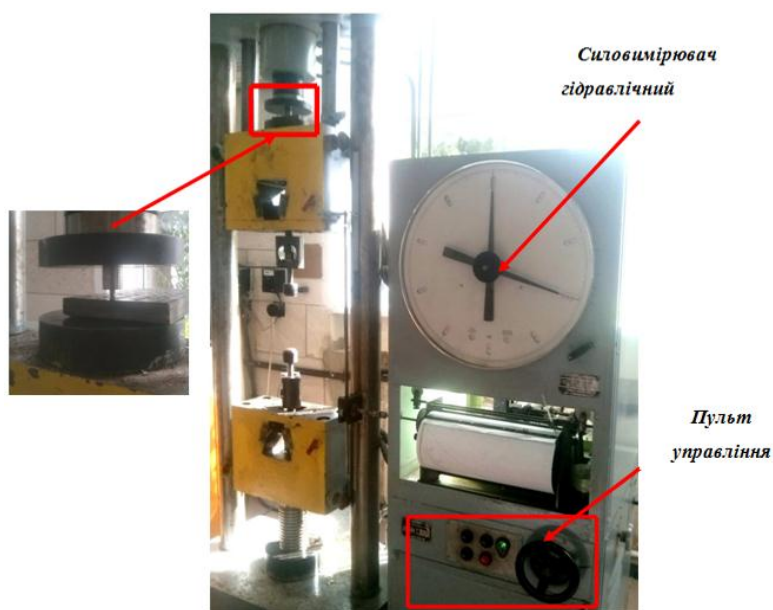


Рисунок 4 – Фото експерименту з дослідження міцності різьбового з'єднання

На основі проведених досліджень були отримані значення сили для кожного випадку ці значення та середнє значення сили зведені в табл. 4.

Таблица 4 – Значення сили отримані для кожного випадку в процесі експерименту

№	F <sub>1</sub> кН	F <sub>2</sub> кН	F <sub>3</sub> кН	F <sub>4</sub> кН	F <sub>5</sub> кН	F <sub>ср</sub> кН
1	14.4	14	13.5	13.5	13.7	13.82
2	13	12	11.7	12	13	12.34
3	9.2	9	11	10.4	10.2	9.96
4	12.2	12.5	12.6	12.2	8	11.5
5	15	14.6	13	12.4	13.7	13.74

Розраховуємо коефіцієнти рівняння регресії, для нашого випадку. Рівняння регресії матиме наступний вигляд:

$$y = F = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot p + b_{12} \cdot t \cdot p + b_3 \cdot t^2 \quad (1)$$

Визначення коефіцієнтів рівняння 1 виконано методом найменших квадратів шляхом мінімізації функціоналу:

$$\Phi = \sum_{u=1}^n (F(b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_3)) \rightarrow \min \quad (2)$$

Розв'язавши рівняння 2 отримаємо залежність для F, та значення коефіцієнтів для нашого випадку вони будуть наступними:  $b_0 = -2.49$ ,  $b_1 = 43.68$ ,  $b_2 = -1.52$ ,  $b_{12} = 2.0$ ,  $b_3 = -29.34$ .

Згідно отриманих нами значень отримуємо рівняння для перевірки адекватності моделі, для нашого випадку рівняння матиме наступний вигляд:

$$y = F = -2.49 + 43.68 \cdot t - 1.52 \cdot p + 2.0 \cdot t \cdot p - 29.34 \cdot t^2 \quad (3)$$

Перевірка адекватності лінійної моделі виконується за допомогою критерію Фішера. Критерій Фішера приймає значення при  $s_{ao}^2 = 6.2 \cdot 10^{-7}$ ,

$$F = \frac{6.2 \cdot 10^{-7}}{0.145} = 4.29 \cdot 10^{-6} \leq 6.6079$$

модель є адекватною.

Похибка отриманих значень для визначення допустимої сили для даного з'єднання сягає менше 1%.

Знайшовши екстремуми отриманої нами функції, знаходимо значення наших параметрів при яких показники міцності будуть найвищими. У нашому випадку для нашої функції значення кроку різьби складатиме  $p = 4 \text{ мм}$ , а значення глибини профілю різьби  $t = 0.9 \text{ мм}$ .

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження, з визначення характеристик міцності для запропонованого роз'ємного різьбового з'єднання з великим кроком, було встановлено що запропоноване з'єднання виконане в АКМ за показниками міцності наближається до аналогічних роз'ємних з'єднань виконаних в металах. На основі експериментальних даних, та за рахунок виконання повного факторного експерименту за класичною схемою його виконання, були отримані значення основних параметрів при яких показники міцності будуть найбільшими а саме значення кроку різьби складатиме  $p = 4 \text{ мм}$ , а значення глибини профілю різьби  $t = 0.9 \text{ мм}$ . На основі проведеного дослідження міцності, можна зробити висновок, що запропоноване різьбове з'єднання з великим кроком, найкраще підходить для армованих композиційних матеріалів. Дане твердження було підтверджено дослідним шляхом.

**Список використаних джерел:** 1. Довгополов А. Ю. Технологія обробки гвинтової поверхні роз'ємного з'єднання в деталях з армованих композиційних матеріалів / А. Ю. Довгополов, С. С. Некрасов // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях = Bulletin of National Technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser. : New solutions in modern technologies. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – № 42 (1214). – С. 38-42. 2. Пат. UA 115892. Спосіб обробки круглої зовнішньої різьби/ Некрасов С.С., Довгополов А. Ю. МПК B23C 3/32 (2006.01), B23B 1/00. - No u201612668 заявл. 12.12.2016; 25.04.2017, бюл. No 8. 3. Richard Zemann Manufacturing of threads direct into a carbon fibre reinforced polymer / Zemann Richard // Vienna University of Technology (TU Wien), Institute for Production Engineering and Laser Technology, Landstraßer Hauptstraße 152, 1030 Vienna, AUSTRIA.

**Bibliography (transliterated):** 1. Dovgoplov A. Ju., Nekrasov S. S. Tehnologija obrobki gvintovoi poverhni roz'emnogo z'ednannja v detaljah z armovanih kompozicijnih materialiv / Visnik Nac. tehn. un-tu "HPI" : zb. nauk. pr. Ser. : Novi rishennja v suchasni tehnologijah – Bulletin of National Technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser. : New solutions in modern technologies. – Harkiv: NTU "HPI", 2016. – № 42 (1214). – S. 38-42. 2. Pat. UA 115892. Sposib obrobki krugloї zovnishn'oi riz'bi/ Nekrasov S.S., Dovgoplov A. Ju. MPK B23C 3/32 (2006.01), B23B 1/00. – No u201612668 zajavl. 12.12.2016; 25.04.2017, bjul. No 8. 3. Richard Zemann Manufacturing of threads direct into a carbon fibre reinforced polymer / Vienna University of Technology (TU Wien), Institute for Production Engineering and Laser Technology, Landstraßer Hauptstraße 152, 1030 Vienna, AUSTRIA.